

フィードバック制御理論 —安定化と最適化—

Ph. D. 志水清孝 著

コロナ社 (2013 年)
A5 判 490 ページ 定価 (本体 7,500 円 + 税)
ISBN : 978-4-339-03208-6



非線形制御を中心に扱う大学教員であれば、研究室に入ってきたばかりの学生に基礎的な非線形制御理論のテキストを与えるのは一苦労だろう。ことに、英語の不得手な学生に和文での手ほどきを与える必要性を痛感するのは毎年のことではないだろうか。

もちろん、和書に名著がないわけではない。しかし、初学者、特に非線形制御どころか制御工学の基礎さえおぼつかない学生に非線形制御の素晴らしさを理解してもらうための良書はあまりお見かけしない。これは、実応用の方々から非線形制御は高尚でわかりにくいとお言葉をしばしばいただく一因にもなっていると考えられる。

本書は、初学者が一から学ぶことのできる非線形制御理論の解説書である。本書の親切なところは、非線形制御の新しい概念を紹介する度に、線形制御や特に PID 制御に立ち戻って解説しているところである。それでいて、非線形制御における近年のホットトピックである、制御リアプノフ関数や非ホロミックシステム、あるいは中心多様体などにも精通している。また、制御応用との関係を強く意識した記述も多い。つまり、本書は初学者から第一線の制御技術者まで、非線形制御に携わる幅広い読者層の支持を受け得る内容となっている。

本書はまず制御工学の基礎事項として、フィードバック制御、PID 制御、2 自由度制御系などの説明から始まる。つぎに、非線形制御理論の基礎事項として、可安定性、相対次数、零ダイナミクス、入出力安定性などを学ぶ。その後、本書の主テーマである安定化と最適化のための理論に深く立ち入っていく。安定化については、リアプノフ安定性に基づく制御、受動性に基づく制御、直接勾配降下制御、中心多様体に基づく制御、出力フィードバック安定化にそれぞれ一章ずつが割かれている。最適化については、変分法と最小原理 (最大原理)、ダイナミックプログラミング (動的計画法)、線形最適レギュレータ (LQ 制御)、非線形最適レギュレータと丁寧な四章構成になっている。そして最後に、PID 制御の現代制御的進化版である P・SPR・D + I 制御を解説している。

もう少し細かく見ていくと、第 2 章「非線形制御システ

ムの基礎理論」では古典制御や現代線形制御との関係に触れている。特に、相対次数や零ダイナミクスが厳密線形化や高ゲインフィードバックと密接な関わりがあることをわかりやすく解説している。そのほか、線形制御との強い関わりを示す部分としては、第 4 章における K-Y-P 補題や第 7 章における高ゲイン出力フィードバック安定化、第 8 章のリカッチ方程式など多岐にわたる。

また、可安定性の解析が非線形システムでは複雑になることを示したブロケットの定理を紹介している。そのため、航空機や宇宙ロボットなどの非ホロミックシステムの制御理論への導入としても本書は有用である。実際、第 5 章では直接勾配降下制御の非ホロミックシステムへの応用についての説明がある。

本書では、制御理論そのものだけでなく、具体的な数値計算法としてニューラルネットを用いたものも紹介している。制御リアプノフ関数に基づくフィードバック制御則や非線形サーボ問題の数値計算に関する文献紹介があるほか、非線形最適レギュレータに用いるハミルトン—ヤコビ方程式の近似解法について 11.3 節で詳細に記述している。

最終章の第 12 章では、PID 制御の発展系である P・SPR・D + I 制御について、実に 92 頁を割り当てて説明している。本書によれば、この制御手法は多入力多出力システムや時間遅れシステムにも適用可能である。また、比例要素 (P)、積分要素 (I)、微分要素 (D) のほかに新しく追加される強正実要素 (SPR) によって、相対次数が高いシステムについての高ゲイン出力フィードバック安定化が可能となる。そのほか、L2 ゲイン外乱抑制問題への応用や非線形システムへの適用など、PID 制御を基礎とした現代制御理論が大きく展開されている。また、途中でリアプノフ—クラソフスキーの安定定理 (時間遅れシステムのリアプノフ安定定理) を簡潔にはあるが紹介しており、本書の主軸の一つが安定化であることを忘れていないところもまた秀逸である。

本書は、ターゲットとする読者層が幅広いために 500 頁近いボリュームとなっている。本評者の研究室に本書を売り込みに来た出版社の方が「辞書的にお使いいただけます」とのセールストークをされていたのも頷ける代物である。初学者のためだけでなく、ぜひ、研究室、あるいはお一人に一冊、ハンドブックとして卓上に置かれてはいかだろうか。また、非線形制御を本格的に学びたい方にも、各種の最先端理論に到達するための足掛かりとして本書を積極的に活用していただきたい。

なお本書は、2014 年度計測自動制御学会著述賞受賞書である。

(鹿児島大学 西村 悠樹)